甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛生产性能、乳成分、血液生化指标及钙磷代谢的影响

张　舒[1,2]　卢　娜[1,2*]　王雅晶[2]　邵　伟[1]　李胜利[2**]　母智深[3**]

（1.新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业大学动物科技学院，动物营养学国家重点实验室，北京市生鲜乳质量安全工程技术研究中心，北京 100193；3.内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司，呼和浩特 011500）

摘　要：本试验旨在研究甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛生产性能、乳成分、血液生化指标及钙磷代谢的影响。选取产奶量、胎次、乳成分和泌乳天数相近的健康荷斯坦泌乳奶牛 45 头，随机分为 3 组，每组 15 个重复，每个重复 1 头牛。对照组饲喂基础饲粮，试验 I 组和试验 II 组分别以甲酸钙和甲酸钙＋乳酸钙替代基础饲粮中 50%的石粉，并使 3 组饲粮中钙水平一致。预试期 10 d，正试期 60 d。结果表明：1）与对照组相比，试验 I 组和试验 II 组乳蛋白率显著提高（$P<0.05$）；乳钙含量和乳脂率均有所升高，但差异不显著（$P>0.05$）。各组之间干物质采食量、产奶量、乳糖率、乳磷含量均无显著差异（$P>0.05$）。2）试验 I 组和试验 II 组的血浆骨钙素（OC）含量均显著高于对照组（$P<0.05$）。各组之间血清中钙、磷、甲状旁腺激素(PTH)含量及碱性磷酸酶(ALP)活性，血浆中骨吸收标志物(CTX)含量均无显著差异（$P<0.05$）。3）试验 I 组与试验 II 组钙、磷表观消化率显著高于对照组（$P<0.05$），钙、磷平衡显著高于对照组（$P<0.05$），粪钙、粪磷含量量显著低于对照组（$P<0.05$）。综上所述，在奶牛饲粮中用甲酸钙和乳酸钙替换部分石粉，显著提高了泌乳奶牛乳蛋白率，对乳脂率和乳钙含量也有提升作用，显著提高了钙、磷表观消化率，减少了钙、磷排放量。

关键词：甲酸钙；乳酸钙；泌乳奶牛；钙磷代谢

收稿日期：2018-03-26
基金项目：2017 年农产品质量安全监管（畜牧）项目（131721301092361005）
作者简介：张　舒（1989—），女，黑龙江鸡西人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: zhangshu200666@126.com
*同等贡献作者
**通信作者：李胜利，教授，博士生导师，E-mail: lisheng0677@163.com；母智深，高级工程师，博士，E-mail: muzhishen@mengniu.cn

中图分类号：S823

钙是动物体内含量最多，同时也是最重要的矿物元素之一，对维持神经和肌肉组织的正常功能起着重要的作用[1-2]。奶牛妊娠后期和泌乳期是机体对钙需要量最大的生理阶段，选择合适的钙添加剂是改善奶牛机体营养状况的有效措施之一。同时，是否可以通过添加有机钙提高牛奶中的钙含量，从而生产高钙含量的牛奶制品，也是目前的研究热点。目前市场上的钙添加剂按照化学组成主要分为无机钙（如磷酸氢钙、石粉等）和有机钙（如甲酸钙、乳酸钙等）。甲酸钙是一种新型的添加剂产品，其中钙含量约为31%，甲酸含量约为69%。乳酸钙是一种优质钙源，易溶于水，吸收率一般要高于其他钙源性添加剂，其在胃内被分解为钙离子和乳酸根离子，可起到补钙及提供能量等作用。甲酸和乳酸同为丙酸的前体物，在瘤胃内发酵通过三羧酸循环进而生成丙酸[3]。对于反刍动物而言，丙酸是葡萄糖的主要来源，90%的丙酸由肝脏摄取并转化成葡萄糖。王聪等[4]通过在泌乳初期的奶牛饲粮中添加不同剂量的丙酸钙，一方面满足了机体对钙的需求，另一方面满足了通过丙酸体内代谢而产生挥发性脂肪酸；当丙酸钙的添加量达到200 g / d时，可显著改善奶牛能量平衡和体况。左玉萍等[5]研究指出，在荷斯坦奶牛中添加0.5%的乳酸钙可以显著提高泌乳期奶牛的产奶量和乳脂率。以上研究均通过在基础饲粮中额外添加有机钙进行探究。因此，本试验用乳酸钙和甲酸钙作为钙源替代部分石粉，旨在系统评价有机钙源和石粉在奶牛生产中的差异性，探究其是否会对奶牛生产性能、乳成分、血液生化指标及钙磷代谢等产生影响。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用的甲酸钙和乳酸钙均由杭州果谷生物技术有限公司提供，钙含量分别为30%和13%。石粉由上海振华牛场提供，钙含量为34%。

1.2　试验设计和饲养管理

试验选用产奶量、胎次、乳成分和泌乳天数相近的健康的荷斯坦奶牛 45 头，泌乳天数为 150~220 d，随机分为 3 组，每组 15 个重复，每个重复 1 头牛。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组分别以甲酸钙和甲酸钙＋乳酸钙替代饲粮中 50%的石粉，并使 3 组饲粮中钙水平一致，均为 1.23%。基础饲粮参照 NRC（2001）配制，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
原料 Ingredients			
玉米 Corn	21.25	21.25	21.25
大麦 Barley	1.54	1.54	1.54
豆粕 Soybean meal	6.94	6.94	6.94
菜籽粕 Rapeseed meal	4.83	4.83	4.83
食盐 NaCl	0.67	0.67	0.67
小苏打 $NaHCO_3$	0.87	0.87	0.87
苜蓿干草 Alfalfa hay	15.44	15.44	15.44
全株玉米青贮 Whole corn silage	14.56	14.56	14.56
燕麦草 Oat grass	4.32	4.32	4.32
甜菜粕 Beet pulp	9.26	9.26	9.26
脂肪粉 Fat powder	3.30	3.30	3.30
脱霉剂 Mycotoxin remover agent	0.06	0.06	0.06
氧化镁 MgO	0.15	0.15	0.15
麦渣 Wheat residue	12.35	12.35	12.35
矿物质-维生素预混料 Mineral-vitamin premix1)	0.09	0.09	0.09
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.68	0.68	0.68
玉米皮 Corn bran	3.09	3.05	2.83
石粉 Limestone	0.60	0.30	0.30
甲酸钙 Calcium formate		0.34	0.17

乳酸钙 Calcium lactate			0.39
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	7.18	7.17	7.16
中性洗涤纤维 NDF	35.15	35.13	35.10
酸性洗涤纤维 ADF	21.33	21.21	21.22
粗蛋白质 CP	18.41	18.35	18.33
粗脂肪 EE	5.46	5.55	5.38
粗灰分 Ash	9.26	9.17	9.21
钙 Ca	1.23	1.23	1.23
磷 P	0.45	0.43	0.43

[1)]每千克矿物质-维生素预混料含有 One kilogram of mineral-vitamin premix contained the following：VA 1 000 000 IU，VE 1500 mg，Fe 4 000 mg，Cu 4 000 mg，Mn 3 000 mg，Zn 12 000 mg，Se 120 mg，I 200 mg，Co 40 mg。

[2)]产奶净能为计算值，其他营养水平为实测值。NE_L was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

试验于 2017 年 5—7 月在上海振华牛场进行饲喂。试验奶牛采用拴系式饲喂管理，每日分 3 次饲喂全混合日粮，分别于 03:30、11:00、19:30 饲喂和挤奶，试验期间奶牛自由饮水。试验期 70 d，其中预试期 10 d，正试期 60 d。

1.3 样品采集及处理

1.3.1 饲粮和剩料

试验期间每 15 d 采集 1 次投喂饲粮和剩料，用于计算采食量。采集的饲粮样品置于 65 ℃烘箱烘干 48 h，回潮 48 h 后制成风干样，粉碎后保存待测。

1.3.2 粪样和尿样

试验采用全收粪尿方法[6]。在舍饲栏内最后 1 次采集奶样和血样后连续 3 d 全收粪尿。混合 1 d 所收集的粪样，准确称取总粪量的 4%，加入 1/4 粪重 10%的酒石酸混合均匀，制

备风干粪样以备分析。用尿袋全收尿 1 d，在集尿桶中预加 200 mL 10%的稀硫酸，每天采集总尿量的 10%，-20 ℃保存待测。

1.3.3 奶样

正试期间每隔 15 d 记录 1 次产奶量。自正试期间第 1 天起每间隔 15 d 采集 1 次奶样，按照早、中、晚 4:3:3 将奶样混合，共采集 100 mL。其中 50 mL 奶样置于 4 ℃冰箱冷藏，冷藏样品运送至蒙牛马鞍山事业部实验室检测常规；另外 50 mL 奶样-20 ℃保存，用于检测乳中钙、磷含量。

1.3.4 血样

正试期间自第 1 天起每间隔 15 d 采集 1 次血样。每组随机挑选 5 头牛，于晨饲前用普通真空采血管和肝素锂抗凝分别进行尾根静脉采血 5 mL，分别将采集的血样置于 4 000 r/min 离心机，10 min 后，将所得血清分装在 1.5 mL 离心管中-20 ℃保存待测，血浆分装在 1.5 mL 离心管-80 ℃保存待测。

1.4 检测指标及检测方法

1.4.1 饲粮、剩料和粪样的营养成分

饲粮、剩料和粪样中的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、粗灰分（Ash）、钙、磷含量的测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[7]。

1.4.2 奶样检测

乳蛋白率、乳脂率、乳糖率采用乳成分分析仪(Foss FT120)测定，乳钙含量采用日立（ZA3000）原子吸收分光光度计测定，乳磷含量的测定参照张丽英[7]描述的方法。

1.4.3 血液生化指标

血清：甲状旁腺激素（PTH）含量采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法测定，试剂盒由上海朗顿生物科技有限公司提供；碱性磷酸酶（ALP）活性及钙、磷含量采用试剂盒测定，

试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

血浆：骨钙素（OC）和骨吸收标志物（CTX）含量采用 OC 和血清Ⅰ型胶原 ELISA 试剂盒测定。

1.5 统计分析

数据用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），Duncan 氏多重比较法进行差异显著性检验。$P < 0.05$ 表示差异显著，结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛干物质采食量（DMI）、产奶量和乳成分的影响

由表2可知，与对照组相比，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组乳蛋白率显著提高（P<0.05）；乳脂率和乳钙含量均有升高，但差异不显著（P>0.05）。各组之间DMI、产奶量及乳糖率、乳磷含量差异不显著（P>0.05）。

表 2 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛 DMI、产奶量和乳成分的影响

Table 2 Effects of calcium formate and calcium lactate on DMI, milk yield and milk composition of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
干物质采食量 DMI/(kg/d)	22.27±1.36	22.25±2.14	22.13±1.18	0.82
奶产量 Milk yield/(kg/d)	33.27±0.99	34.11±1.34	35.75±1.19	0.66
乳蛋白率 Milk protein rate/%	3.08±0.25[b]	3.14±0.25[a]	3.13±0.28[a]	0.04
乳脂率 Milk fat rate/%	3.28±0.63	3.41±1.18	3.44±1.33	0.08
乳糖率 Lactose rate/%	4.71±0.22	4.64±0.32	4.88±0.17	0.15
钙 Ca/（mg/g）	1.10±0.13	1.14±0.11	1.12±0.16	0.07
磷 P/（mg/g）	0.91±0.10	0.90±0.09	0.88±0.01	0.25

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛血液生化指标的影响

由表 3 可知，与对照组相比，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的血浆 OC 含量均显著高于对照组（$P<0.05$）。各组之间血清钙、磷、PTH 含量及 ALP 活性，血浆 CTX 含量差异不显著（$P>0.05$）。

表 3　甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛血液生化指标的影响

Table 3　Effects of calcium formate and calcium lactate on blood biochemical indices of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
钙 Ca/(mmol/L)	2.70±0.55	2.54±0.25	2.66±0.34	0.28
磷 P/(mmol/L)	1.69±0.32	1.67±0.34	1.71±0.27	0.56
甲状旁腺激素 PTH/（ng/dL）	33.45±12.08	32.95±11.66	34.01±11.73	0.46
碱性磷酸酶 ALP/（U/L）	33.20±6.11	34.11±7.27	33.96±5.97	0.33
骨钙素 OC/（ng/mL）	$43.60±6.45^{b}$	$45.90±3.22^{a}$	$46.20±4.21^{a}$	0.05
骨吸收标志物 CTX/(ng/mL)	1.60±0.75	1.68±0.28	1.65±0.45	0.52

2.3 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛钙磷代谢的影响

由表 4 可知，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的钙、磷表观消化率显著高于对照组（$P<0.05$），粪钙、粪磷含量量显著低于对照组（$P<0.05$），钙、磷平衡显著高于对照组（$P<0.05$）。

表 4 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛钙磷代谢的影响

Table 4 Effects of calcium formate and calcium lactate on calcium and phosphorus metabolism of lactating dairy cows

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	*P* 值 *P*-value
钙 Ca				
摄入钙 Intake Ca/(g/d)	273.92±13.78	273.68±11.11	272.2±13.43	0.73
水中钙 Ca drunk with water/(g/d)	8.50±1.07	8.38±1.42	8.45±1.24	0.69
牛奶钙 Milk Ca/(g/d)	36.50±1.14	34.11±1.25	35.75±1.32	0.36
尿钙 Urine Ca/(g/d)	2.45±0.29	2.55±0.19	2.63±0.26	0.11
粪钙 Feces Ca/(g/d)	197.60±11.37[a]	185.20±10.76[b]	178.9±11.99[b]	0.04
钙平衡 Ca balance/(g/d)	45.87±3.79[b]	52.77±3.33[a]	53.66±3.14[a]	0.04
钙表观消化率 Ca apparent digestibility/%	27.86±0.84[b]	32.33±0.95[a]	34.28±1.12[a]	0.03
磷 P				
摄入磷 Intake P/(g/d)	100.22±7.22	100.13±6.77	99.59±8.22	0.72
牛奶磷 Milk P/(g/d)	30.28±0.94	30.42±1.13	31.51±1.42	0.35
尿磷 Urine P/(g/d)	2.27±0.23	2.33±0.42	2.42±0.25	0.14
粪磷 Feces P/(g/d)	62.69±7.34[a]	60.87±7.21[b]	58.94±6.99[b]	0.03
磷平衡 P balance/(g/d)	4.98±0.45[b]	6.51±0.37[a]	6.71±0.55[a]	0.03
磷表观消化率 P apparent digestibility/%	37.44±1.32[b]	39.21±1.58[a]	40.81±1.76[a]	0.04

钙平衡＝摄入钙＋水中钙－尿钙－粪便－牛奶钙；磷平衡＝摄入磷－尿磷－粪磷－牛奶磷。

Ca balance=intake Ca+Ca drunk with water－urine Ca－feces Ca－ milk Ca; P balance= intake P－urine P－feces P－milk P.

3 讨 论

3.1 甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛 DMI、产奶量和乳成分的影响

黄建华等[8]在乳仔猪饲粮中分别添加 0.5%和 1.0%的甲酸钙，结果显示饲粮中添加 0.5%的甲酸钙对乳仔猪的采食量和生长性能无显著影响；饲粮中添加 1.0%的甲酸钙能够提高乳仔猪的采食量、日增重，改善饲料转化率。本试验结果与上述试验结果相似，本试验结果表明，甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛的 DMI 和产奶量均无显著影响。

甲酸钙和乳酸钙在胃内被分解为钙离子和酸根离子，可起到补钙及提供丙酸前体物——甲酸和乳酸的作用。甲酸和乳酸在瘤胃内发酵，通过三羧酸循环进而生成丙酸[3]。对于反刍动物而言，丙酸是葡萄糖的主要来源，90％的丙酸由肝脏摄取并转化成葡萄糖。王聪等[4]通过在泌乳初期的奶牛饲粮中添加不同剂量的丙酸钙，一方面可满足机体对钙的需求，另一方面可通过丙酸体内代谢产生挥发性脂肪酸；当丙酸钙的添加量达到 200 g／d 时，可显著改善奶牛能量平衡和体况。本试验中，乳脂率并没有显著地变化，有可能是因为 2 个试验组中，甲酸钙和乳酸钙的添加量较低造成的。试验Ⅰ组中，甲酸钙在饲粮中的添加量为 0.34%，按照奶牛 DMI 为 22.27 kg／d，折算后甲酸钙的添加量为 83.1 g/d；试验Ⅱ组中，甲酸钙和乳酸钙在饲粮中的添加量分别为 0.17%和 0.39%，按照奶牛 DMI 为 22.25 kg／d，折算后甲酸和乳酸的添加量分别为 41.6 和 95.3 g/d。此外，本试验中试验Ⅰ组和试验Ⅱ组的乳蛋白率均显著高于对照组，主要是因为 2 个试验组中添加了葡萄糖的前体物质甲酸和乳酸，可促进葡萄糖的异生作用，导致血浆葡萄糖和胰岛素含量升高。Patton 等[9]研究证实，饲喂葡糖糖前提物质可显著提高血浆葡糖糖和胰岛素含量。胰岛素的分泌又可以增加乳腺对氨基酸的吸收，从而提高乳蛋白率。

乳钙与乳蛋白代谢主要靠酪蛋白胶束共同作用，具有较高的相关性[10-12]。80%的乳蛋白是由酪蛋白组成，酪蛋白中含有 72%的钙，其余的钙离子游离存在[13]。因此 2 个试验组中的乳钙含量随着乳蛋白率的增加而增加，与对照组相比有增高的趋势，但差异不显著。

3.2　甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛血液生化指标的影响

血清中钙、磷含量的高低均可反映出奶牛机体内相应离子代谢平衡的状态。通常认为，奶牛血液中矿物质元素的含量较为稳定，如血清中钙、磷含量由于受 PTH、降钙素的双重功能调节以及其他因素的影响，很难在短期内受饲粮影响而有很大的变化[14]。PTH 是调节骨转换及骨骼钙磷代谢的最为重要的肽类激素之一。主性等[15]研究发现，PTH 能够促进钙的吸收，动员钙从骨组织中释放。PTH 同时能够通过非转录途径，调节血磷平衡，促进骨中磷的释放[16-17]。本试验发现，试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血清中钙、磷和 PTH 含量差异不显著，说明石粉、甲酸钙或者甲酸钙+乳酸钙混合钙源均能够提供足够的钙、磷，未导致骨钙动员的差异性。

血液中 ALP 在机体钙的消化、吸收、分泌和骨化过程中有着重要的作用[18]。CTX 存在于成熟的骨胶原中，当破骨细胞活性增强时骨胶原溶解释放Ⅰ型胶原蛋白，骨吸收增强时 CTX 含量升高。OC 是骨转换标志物，是骨基质中最重要的一种特异性非胶原蛋白。血浆中 OC 含量可反映出奶牛机体中骨钙的流转速度。本试验结果表示，各组之间血清 ALP 含量和血浆 CTX 含量差异不显著，说明各组骨吸收的程度相当。试验Ⅰ组和试验Ⅱ组血浆 OC 含量显著高于对照组，说明试验组的骨中钙、磷的沉积程度显著高于对照组。分析其可能的原因是，尽管石粉、甲酸钙、乳酸钙均能够提供机体需求的钙，但甲酸钙和乳酸钙能够加速骨钙的沉积。具体机制还需进一步研究。

3.3　甲酸钙和乳酸钙对泌乳奶牛钙磷代谢的影响。

钙和磷在骨骼生长和代谢中发挥重要作用，是动物骨骼生长发育和维持骨骼不可缺少的重要矿物元素[18]。研究报道乳酸钙是营养价值最好的钙源且易消化吸收[19-20]。钙离子的吸收

需要在酸性环境下进行，凡是能够影响胃肠道酸性环境的因素，便会影响钙的吸收[21]。甲酸钙和乳酸钙等有机酸可以提高瘤胃内微生物发酵及合成，促进钙的吸收[3]。马丹丹等[22]在大鼠饲粮中添加碳酸钙（饲用石粉的主要成分）和乳酸钙，当摄入计量相同时，添加乳酸钙组的骨钙含量和骨密度显著高于碳酸钙组。本试验为未能检测肠道内容物的 pH，不能确定是否是因为甲酸钙和乳酸钙降低胃肠道 pH 而达到钙在体内吸收和骨沉积。此外，由于钙、磷本质上受同一生物学和物理化学机制的调节，在胃肠道、细胞液及骨骼-血液系统中相互作用，具有很强的关联性[23-24]，所以与对照组相比，2 个试验组骨钙沉积增加的同时骨磷沉积也显著增加。

2009 年我国畜禽粪便的产生量超过工业固体废弃物，成为环境污染的主要来源。其中粪、尿产生量最大的是牛，约占总粪污量的 46.97%。Bai 等[25]研究表明，我国奶牛磷的平均利用率只有 10%~22%，远低于美国、澳大利亚、新西兰等国的平均水平（19%~35%）。Gourley 等[26]通过对澳大利亚的 41 个牧场调研，发现磷的利用率在 6%~158%。磷的利用率的参差不齐，造成了对饲料资源、机体健康和环境等多方面的影响。目前国内外的研究主要集中在饲粮中不同钙磷比例对钙、磷表观消化率的影响。而关于甲酸钙和乳酸钙对反刍动物钙、磷的影响研究很少。本试验结果显示，2 种有机钙不仅能够减少钙的排放量，同时还能减少磷的排放量，从而减少环境污染，提高牧场的生态效益。

4 结 论

奶牛饲粮中用甲酸钙和乳酸钙替换部分石粉，显著提高了乳蛋白率，对乳脂率和乳钙含量也有提升作用，显著提高了钙、磷表观消化率，减少了钙、磷排放量。

参考文献:

[1] VILLEREAL M L,PALFREY H C.Intracellular calcium and cell function[J].Annual Review of Nutrition,1989,9(1):347–376.

[2] BRONNER F,PANSU D.Nutritional aspects of calcium absorption[J].The Journal of Nutrition,1999,129(1):9–12.

[3] 杨承剑.延胡索酸二钠对山羊瘤胃甲烷生成的调控研究及相关瘤胃微生物菌群分析[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2011.

[4] 王聪，刘强，黄应祥，等.丙酸钙对泌乳早期奶牛体况和能量平衡的影响[J].中国饲料,2008(17):18–20.

[5] 左玉萍，屈春虹，冯成利，等.特多壮乳酸钙饲料添加剂饲喂奶牛试验[J].饲料工业,1993,14(2):40–41.

[6] CAO Z J,MA M,YAN X Y,et al.A simple urine-collecting apparatus and method for cows and heifers[J].Journal of Dairy Science,2009,92(10):5224–5228.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4版.北京:中国农业大学出版社,2016:370.

[8] 黄建华, 张水印, 杨凤梅.甲酸钙对乳猪生产性能的影响[J].南昌高专学报,2006,12(2):101–102.

[9] PATTON R S,SORENSON C E,HIPPEN A R.Effects of dietary glucogenic precursors and fat on feed intake and carbohydrate status of transition dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2004,87(7):2122–2129.

[10] BIJL E,VAN VALENBERG H J F,HUPPERTZ T,et al.Protein,casein,and micellar salts in milk:current content and historical perspectives[J].Journal of Dairy Science,2013,96(9):5455–5464.

[11] POULSEN N A,RYBICKA I,POULSEN H D,et al.Seasonal variation in content of riboflavin and major minerals in bulk milk from three Danish dairies[J].International Dairy Journal,2015,42:6–11.

[12] GAUCHERON F.The minerals of milk[J].Reproduction Nutrition Development,2005,45(4):473–483.

[13] 范金波，王鹏杰，周素珍，等.酪蛋白胶束结构和理化性质的研究进展[J].食品工业科技,2014,35(3):396–400.

[14] 姚美蓉.不同精粗比日粮对荷斯坦奶牛钙、磷、镁、锌消化代谢和泌乳性能的影响[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2004.

[15] 主性, 侯加法, 张咏梅, 等.低钙性笼养蛋鸡骨质疏松症PTH、CT及E_2的变化[J].中国兽医学报,2001,21(1):72–74.

[16] BACIC D,LEHIR M,BIBER J,et al.The renal Na^+/phosphate cotransporter NaPi-IIa is internalized via the receptor-mediated endocytic route in response to parathyroid hormone[J].Kidney International,2006,69(3):495–503.

[17] 杨京, 陈林.肠道磷吸收及其调节机制[J].中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2014,7(1):77–81.

[18] 王剑，王栋，何建平，等.口服补钙对甘肃鼢鼠钙磷代谢的影响[J].动物学杂志,2010,45(4):46–51.

[19] KRUGER M C,GALLAHER B W,SCHOLLUM L M.Bioavailability of calcium is equivalent from milk fortified with either calcium carbonate or milk calcium in growing male rats[J].Nutrition

Research,2003,23(9):1229–1237.

[20] LEE W T K,JIANG J,LAI X J,et al.Calcium absorption from calcium fortified soymilk and cow's milk in postmenopausal Chinese women with suboptimal serum 25-hydroxyvitamin D status[J].Bone,2008,43(Suppl.1):S31–S32.

[21] 初汉平.奶牛钙磷适宜供给量的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2005.

[22] 马丹丹, 朱文丽, 龙珠, 等.比较不同来源钙剂对大鼠骨密度的影响[J].中国食物与营养,2010(9):64–68.

[23] 顾建红, 刘俊栋, 赵瑞英, 等.不同钙磷比例对体外培养番鸭破骨细胞生成及骨吸收功能的影响[J].畜牧兽医学报,2007,38(12):1357–1361.

[24] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004:13,595.

[25] BAI Z H,MA L,OENEMA O,et al.Nitrogen and phosphorus use efficiencies in dairy production in china[J].Journal of Environmental Quality,2013,42(4):990–1001.

[26] GOURLEY C J P,DOUGHERTY W J,WEAVER D M,et al.Farm-scale nitrogen,phosphorus,potassium and sulfur balances and use efficiencies on Australian dairy farms[J].Animal Production Science,2012,52(10):929–944.

Effects of Calcium Formate and Calcium Lactate on Performance, Milk Composition, Blood Biochemical Indices and Calcium and Phosphorus Metabolism of Lactating Dairy Cows

ZHANG Shu[1,2] LU Na[1,2*] WANG Yajing[2] SHAO Wei[1] LI Shengli[2**] MU Zhishen[3**]

(1. *College of Animal Science and Technology, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*; 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Beijing Engineering Technology Research Center of Raw Milk Quality and Safety Control, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*; 3. *Inner Mongoliamengniu Dairy (group) Co. ,Ltd., Hohhot* 011500, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of effects of calcium formate and calcium lactate on performance, milk composition, blood biochemical indices and calcium and phosphorus metabolism of lactating dairy cows. Forty-five Holstein lactating dairy cows with

similar milk yield, parity, milk composition and lactation days were randomly assigned into 3 groups with 15 replicates in each group and 1 cow in each replicate. Cows in the control group were fed a basal diet, and others in trial group Ⅰ and trial group Ⅱ were fed the experimental diets which used 50% limestone replaced by calcium formate and calcium formate+calcium lactate, and had the same dietary calcium level in 3 groups. The pre-trial lasted for 10 days, and the trial period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the milk protein rate of trial group Ⅰ and trial group Ⅱ was significantly increased ($P<0.05$), the milk fat rate and milk calcium content was increased, but the difference was no significant ($P<0.05$). There were no significant differences on dry matter intake, milk yield, lactose rate and milk phosphorus content among all groups ($P>0.05$). 2) The plasma osteocalcin (OC) content of trial group Ⅰ and trial group Ⅱ was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). There were no significant differences on the parathormone (PTH), calcium and phosphorus contents and alkaline phosphatase activity in serum, and plasma bone resorption (CTX) content among all groups ($P>0.05$). 3) The calcium and phosphorus apparent digestibilities of trial group Ⅰ and trial group Ⅱ were significantly higher than those of the control group ($P<0.05$), calcium and phosphorus balance were significantly higher than those of the control group ($P<0.05$), and the contents of calcium and phosphorus in faeces were significantly lower than those of the control group ($P<0.05$). In conclusion, part limestone replaced by calcium formate and calcium lactate can significantly improve the milk protein rate of lactating dairy cows, improve the milk fat rate and milk calcium content, and significantly increase the calcium and phosphorus apparent digestibilities, reduce the calcium and phosphorus emissions.

Key words: calcium formate; calcium lactate; lactating dairy cows; calcium and phosphorus metabolism

*Contributed equally
**Corresponding authors: LI Shengli, professor, E-mail: lisheng0677@163.com; MU Zhishen, senior engineer, E-mail: muzhishen@mengniu.cn (责任编辑　武海龙)